

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับซีปนวิธีภายในอาวุธปืนขนาด 5.56 มม.

สุรสิทธิ์ ปาลสาร^{1*}

วันที่รับ 15 กรกฎาคม 2567 วันที่แก้ไข 14 มีนาคม 2568 วันที่ตอบรับ 21 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ซีปนวิธีภายในอาวุธปืนขนาด 5.56 มม. โดยหลักการแล้วคือ การคำนวณความดันภายในลำกล้องปืนและการเคลื่อนที่ของกระสุนปืน โดยอาศัยหลักการทางอุณหพลศาสตร์ของก๊าซ การเผาไหม้เชื้อเพลิงดินปืน และวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขแบบที่ละขั้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อคำนวณความดันรังเพลิง ความเร็วต้นของกระสุน และประสิทธิภาพของปืน ผลลัพธ์ที่ได้แสดงว่าความดันก๊าซขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ หลายประการ ได้แก่ คุณสมบัติของดินปืน ปริมาณและขนาดของดินปืน รูปร่างดินปืน รวมถึงขนาดของลำกล้องปืนและกระสุน ผลการคำนวณความเร็วต้นแสดงให้เห็นว่า ถ้าเราใช้ปริมาณดินปืนมากกว่าและกระสุนที่เบากว่า กระสุนจะมีความเร็วต้นมากกว่า สำหรับการเปรียบเทียบความยาวปืน ปืนที่มีลำกล้องสั้นจะมีความเร็วต้นต่ำกว่าปืนลำกล้องยาวอยู่เล็กน้อย ประสิทธิภาพเชิงซีปนวิธีแปรผันตามค่าอัตราส่วนมวลกระสุนต่อมวลดินปืน ถ้าอัตราส่วนมวลกระสุนต่อมวลดินปืนมีค่ามากขึ้น ปืนก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลการคำนวณทำให้เราสามารถประเมินความเร็วต้นของปืน ความดันรังเพลิง และประสิทธิภาพของปืน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบหรือปรับปรุงประสิทธิภาพของปืนให้ดีขึ้นได้ตามจุดประสงค์และความต้องการของผู้ออกแบบ

คำสำคัญ: ซีปนวิธีภายในอาวุธปืน, ดินปืน, ความดันรังเพลิง, ความเร็วปากกระบอกปืน

¹ ส่วนงานวิศวกรรมระบบขับเคลื่อน, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: surasith.p@dti.or.th

The Numerical Analysis of the Interior Ballistic of a 5.56 mm Gun

Surasith Palasarn ^{1*}

Received 15 July 2024, Revised 14 March 2025, Accepted 21 April 2025

Abstract

The analysis of the interior ballistics of 5.56 mm firearms was based on the principle of calculating the pressure inside the barrel and the movement of the bullet. We used the thermodynamic principle of gas combustion of gunpowder, and the step-by-step numerical calculation method to calculate the breech pressure, the muzzle velocity of the bullet, and the efficiency of the gun. The results showed that the breech pressure depended on many variables, including the properties of gunpowder, the weight and shape of the gunpowder, the size of the barrel, and the weight of bullet. The muzzle velocity calculation results showed that if we used more gunpowder and a lighter bullet, the bullet would have a higher muzzle velocity. For the comparison of gun length, guns with short barrels would have a slightly lower muzzle velocity than long-barreled ones. Ballistic efficiency varied with the ratio of weight of bullet to gunpowder. If the ratio of bullet weight to gunpowder was higher, the gun would be more efficient. The calculation results allowed us to evaluate the muzzle velocity of the gun, the breech pressure, and the efficiency of the gun. Ultimately, they can be used to design or improve the efficiency of the gun to better match the purposes and needs of designer.

Keywords: Interior ballistic of gun, Gun propellant, Breech pressure, Muzzle velocity

¹ Propulsion Systems Division, Defence Technology Institute

* Corresponding author, E-mail: surasith.p@dti.or.th

1. บทนำ

จากความต้องการของกระทรวงกลาโหม ในการพัฒนาอาวุธปืนเล็กยาว ขนาด 5.56x45 มม. โดยสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้ร่วมกับภาคเอกชน ทำการศึกษาและพัฒนาปืนเล็กยาวจู่โจม โดยอาศัยปืนตระกูล Colt AR-15 ของสหรัฐอเมริกา เป็นต้นแบบ เนื่องจากปืนตระกูลนี้ มีประสิทธิภาพสูง น้ำหนักเบา และคล่องตัว เป็นที่นิยมในหน่วยผู้ใช้งาน

ส่วนหนึ่งของแผนการพัฒนาระบบอาวุธปืนเล็กยาว ขนาด 5.56x45 มม. ประกอบด้วย การวิเคราะห์หลักการทางอุณหพลศาสตร์การเผาไหม้ดินปืน ทำให้เกิดแรงดันภายในรังเพลิง ทำให้กระสุนปืนเคลื่อนไปข้างหน้า ซึ่งเป็นที่รู้จักกันมาตั้งแต่มีการใช้งานปืนคาบศิลาในยุคแรก ๆ แต่หลักการการคำนวณทางคณิตศาสตร์ มีการศึกษากันหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไป ในงานวิจัยของต่างประเทศ เช่น งานวิจัยของ Z. Xiao และคณะ [1] รายงานผลการประเมินชิปนวิธิภายใน โดยการอาศัยผลการทดสอบอัตราการเผาไหม้ภายใน ภาชนะปิด งานวิจัยของ M. S. Pir Tavana และคณะ [2] ได้แสดงการจำลองกระสุนขนาด 9 มม. ซึ่งโมเดลการคำนวณแบบการไหลปั่นป่วน Spalart-Allmars ซึ่งได้ผลเป็นความดันก๊าซ ความเร็วก๊าซ รวมถึงความเร็วเสียงของก๊าซที่กระสุนผ่าน การศึกษาเชิงลึกทางทฤษฎีอุณหพลศาสตร์ เช่น การวิจัยทฤษฎีชิปนวิธิภายในอาวุธปืนของ J. Corner [3] และของ P. G. Baer และ J. M. Frankle [4] เป็นต้น แสดงข้อมูลผลการทดสอบหลักการที่สำคัญ

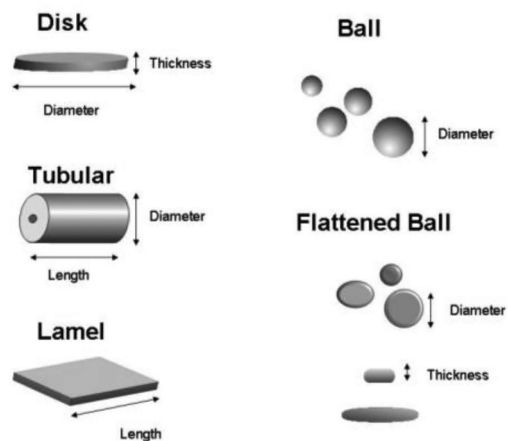
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การจำลองการทำงานภายในลำกล้องปืน การคำนวณตามหลักทฤษฎี โดยอ้างอิงงานวิจัยของ J. Corner ที่แสดงถึงการคำนวณความดันของก๊าซในลำกล้องปืน และการคำนวณการเคลื่อนที่ของกระสุนปืนแบบต่าง ๆ ได้แก่ Ball M193, Ball M855, Tracer M196, Tracer M856 ที่ใช้กับปืนขนาดลำกล้อง 5.56 มม. ที่ใช้กันภายในประเทศ โดยดินปืนเป็นแบบทรงกลม มีค่าน้ำหนักดินปืน

และน้ำหนักกระสุนแตกต่างกันระหว่างกระสุนแต่ละแบบ การคำนวณสามารถแสดงประสิทธิภาพของกระสุนแต่ละแบบที่เป็นประโยชน์กับผู้ใช้งาน

2. หลักการทางทฤษฎี

2.1 ดินปืน (Gun propellant)

ดินปืนในปัจจุบันมีส่วนผสมของไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose) เป็นส่วนประกอบหลัก รวมกับสารอื่น ๆ [5] ซึ่งผลิตจากการใช้ในเตาที่ผ่านการเคลือบในกรด เชื้อเพลิงจะถูกกดเป็นแท่งแล้วกดให้ผ่านแม่พิมพ์เพื่อให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ จากนั้นตัวทำละลายจะระเหยออกไป แห้งและแข็งตัว ดินปืนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ ดินปืนฐานเดี่ยว (Single base propellant) และดินปืนฐานคู่ (Double base propellant) ทั้งสองประเภทถูกผลิตออกมาในหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ ทรงกลม แบบแผ่น แบบเม็ด หรือเป็นทรงกระบอก ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะดินปืนแบบต่าง ๆ [6]

เชื้อเพลิงแบบทรงกระบอกมีหลายขนาด ขึ้นอยู่กับขนาดของปืน เช่น ขนาดแท่งดินปืนของปืน .30 คาลิเบอร์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.032 นิ้ว และยาวเท่ากับ 0.085 นิ้ว เป็นต้น รูที่ดินปืนรูปทรง

กระบอกทำหน้าที่ควบคุมการเกิดแก๊ส เช่นเดียวกับเวลาเผาไหม้ ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ [7]

1) ขนาดและรูปร่างของดินปืน รวมถึงจำนวนของรูในแท่งดินปืน

2) ขนาดความหนาแท่งดิน (Web) หรือระยะของเชื้อเพลิงระหว่างพื้นที่เผาไหม้ ถ้าความหนามาก เวลาเผาไหม้ยิ่งมาก

3) ความเร็วของการเผาไหม้หรืออัตราเผาไหม้เชื้อเพลิง (Burn rate)

4) เปอร์เซ็นต์ของสารระเบิดได้ สารเฉื่อย และความชื้น การเปลี่ยนแปลงสารระเบิดเพียง 1% ในดินปืนที่มีสารระเบิดต่ำสามารถเปลี่ยนอัตราเผาไหม้มากกว่า 10%

2.2 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง (Solid propellant combustion)

เมื่อแท่งเชื้อเพลิงเริ่มต้นเผาไหม้ วัสดุแข็งจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซ การวิเคราะห์ที่ซับซ้อนวิธีภายในของระบบปืนจำเป็นต้องทราบว่แก๊สเกิดขึ้นเท่าใดและเชื้อเพลิงแข็งเหลืออยู่เท่าใด จำนวนของเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่หาได้จากค่า Web fraction f ซึ่งก็คือสัดส่วนของเว็บที่เหลืออยู่ตลอดเวลาหนึ่ง เรียกว่า จำนวนเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่ (Propellant remaining)

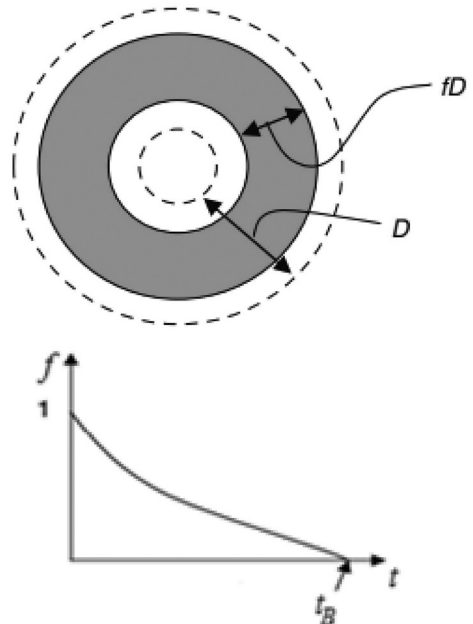
$$d(t) = fD \quad (1)$$

$d(t)$ คือ เชื้อเพลิงที่เหลือ

f คือ สัดส่วนการเผาไหม้ (Web fraction)

D คือ ความหนาเว็บ (Web thickness)

ตามรูปที่ 2 เราเห็นว่า D คือ รัศมีภายนอกลบด้วยรัศมีภายใน



รูปที่ 2 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบทรงกระบอก [8]

ตัวแปรหนึ่งคือสัดส่วนของการเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือ Propellant burn, ϕ สำหรับดินปืนแบบทรงกระบอก หาได้จากสมการ

$$\phi = 1 - \left(\frac{fD}{D} \right)^2 = 1 - f^2 = (1+f)(1-\theta f) \quad (2)$$

ในที่นี้

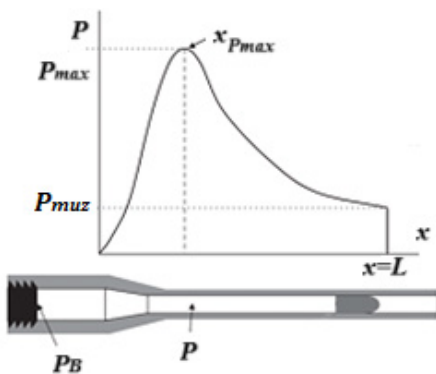
θ คือ ค่าฟอร์มแฟกเตอร์ (Form factor)

เพื่ออธิบายอุณหภูมิของก๊าซ เราต้องการนิยามตัวแปรใหม่ที่ใช้บ่อยในขีปนาวุธภายใน นั่นคือ ค่ากำลังเชื้อเพลิง (Propellant force, λ) หมายถึงค่าพลังงานที่ปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิง กระบวนการเผาไหม้เป็นแบบอุณหภูมิคงที่ (Isothermal) ค่าพลังงานเชื้อเพลิงแสดงโดย

$$\lambda = RT_o \quad (3)$$

R คือ ค่าคงที่จำเพาะของก๊าซ

T_o คือ อุณหภูมิก๊าซ (Flame temperature)



รูปที่ 3 ความดัน-ระยะทางในกระบอกปืน [8]

เพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของกระสุน เราอธิบายโดยใช้สมการสถานะก๊าซ โดยให้ระยะทางจากท้ายกระสุนตามรูปที่ 3 แทนด้วย x ที่ว่างสำหรับก๊าซด้านหลังกระสุนที่เวลา t คือ

$$U + Ax - c \frac{1-\phi}{\delta} \quad (4)$$

สมการสถานะก๊าซ ได้แก่

$$P \left(U + Ax - c \frac{1-\phi}{\delta} - c\phi\eta \right) = \lambda c\phi \quad (5)$$

โดยที่

P คือ ความดันเฉลี่ยด้านหลังกระสุน

U คือ ปริมาตรของกระบอกปืน

A คือ พื้นที่หน้าตัดลำกล้องปืน

x คือ ระยะเคลื่อนที่ของกระสุน

c คือ มวลประจุดินปืน

δ คือ ความหนาแน่นของดินปืน

η คือ โคโวลุ่ม

สมการอัตราการเผาไหม้แสดงไว้ดังนี้

$$D \frac{df}{dt} = -\beta P^\alpha \quad (6)$$

โดยที่

$\frac{df}{dt}$ คือ อัตราการเปลี่ยนสัดส่วนการเผาไหม้

β คือ สมประสิทธิ์อัตราการเผาไหม้

α คือ ค่ากำลังอัตราเผาไหม้

โดยการพิจารณาผลของการหมุนของกระสุนหนึ่งรอบเป็นจำนวน n คาบลิเบอร์ ค่ารัศมีการหมุน (Radius of gyration) ของกระสุนคือ k แรงขับเคลื่อนของกระสุนส่วนหนึ่งเสียไปกับการหมุนของกระสุนเสมือนทำให้มวลกระสุนเพิ่มขึ้นเป็น w_1 มีค่าเท่ากับ

$$w_1 = w \left(1 + \frac{2\pi k}{nd} \right)^2 \quad (7)$$

โดยที่

w_1 คือ มวลกระสุนเทียบเท่า

(Effective shot weight)

w คือ มวลกระสุน (Shot weight)

n คือ จำนวนเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง (Calibers)

k คือ ค่ารัศมีการหมุน (Radius of gyration)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกระสุน

สมการความเร็วลูกกระสุนแสดงดังสมการด้านล่าง ได้แก่

$$V = \frac{AD}{\beta(w_1 + \frac{1}{2}c)}(1-f) \quad (8)$$

โดยที่

V คือ ความเร็วลูกกระสุน

ตัวแปรหนึ่งที่สำคัญ นั่นคือ ค่าชีปนวิถีกลาง (Central ballistic parameter) M เป็นฟังก์ชันของปืน เชื้อเพลิงและกระสุน นั่นคือ

$$M = \frac{A^2 D^2}{w_1 c \lambda \beta^2} \left[\frac{1 + \frac{c}{2w_1}}{\left(1 + \frac{c}{3w_1}\right)^2} \right] \quad (9)$$

โดยสมการลากรองจ์ สำหรับการออกแบบปืนที่ใช้ดินปืนแบบทรงกลม สมการสัดส่วนการเผาไหม้ $\phi(t)$

$$\phi(t) = 1 - f^3(t) \quad (10)$$

โดยนิยาม อัตราส่วนลากรองจ์ R_L

$$R_L = \frac{1 + \frac{c}{2w_1}}{1 + \frac{c}{3w_1}} \quad (11)$$

โดยอาศัยกลศาสตร์แบบลากรองจ์ สมการความดันรังเพลิง P_B สำหรับดินปืนทรงกลมกลายเป็น

$$P_B = \frac{\lambda c R_L}{V} (1-f^3) \left\{ \exp \left[\frac{2M}{\sqrt{3}} \left(\tan^{-1} \left(\frac{1+2f}{\sqrt{3}} \right) - \left(\frac{\pi}{3} \right) \right) \right] \right\} \quad (12)$$

สมการ (12) สามารถใช้ในการคำนวณความดันภายในกระบอกปืนขนาดต่าง ๆ

สมการภายหลังการเผาไหม้ (After burn equation) โดยการกำหนด

$$r = \frac{x+l}{x_c+l} \quad (13)$$

โดยที่

$$x_c + l = l(1+\theta)^{\frac{M}{\theta}} \quad (\theta \neq 0) \quad (14)$$

$$= l e^M \quad (\theta = 0) \quad (15)$$

โดยนิยาม

$$\Phi = \frac{2}{(1-\gamma)} [r^{1-\gamma} - 1] \quad (16)$$

โดยที่

γ คือ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ

x คือ ระยะเคลื่อนที่ของกระสุน

x_c คือ ระยะดินปืนหมด

l คือ ระยะความยาวรังเพลิง

โดยการกำหนดนี้ ที่จุด x มากกว่า x_c และความดันรังเพลิงสูงสุด P_c ค่าความดันรังเพลิงหลังการเผาไหม้ คือ

$$P_B = P_c r^{-\gamma} \quad (17)$$

สมการที่ (17) แสดงให้เห็นว่า หลังจากที่ดินปืนเผาไหม้จนหมด ความดันรังเพลิงจะลดลงในรูปแบบเอ็กซิโพเนนเชียล

ประสิทธิภาพเชิงชีปนวิถี (Ballistic efficiency) โดยนิยามแล้ว หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานการเคลื่อนที่ของกระสุนต่อพลังงานของดินปืน นั่นคือ

$$Ballistic\ Efficiency = \frac{(\gamma - 1)wV_m^2}{2\lambda c} \tag{18}$$

โดยที่

w คือ มวลกระสุน

V_m คือ ความเร็วปากลำกล้องปืน

3. การคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Analysis)

การวิเคราะห์ทางทฤษฎีตามสมการ (1) ถึง (18) การคำนวณค่าต่าง ๆ โดยใช้การสร้างคำนวณต่อเนื่อง สำหรับในงานวิจัยนี้ สมมติฐาน คือ ดินปืนเป็นทรงกลม

ตารางที่ 1 คุณสมบัติดินปืน (Propellant properties)

Parameters	Value	Reference
Propellant force	992,362 J/kg	อ้างอิง [8]
ความหนาแน่น	1.55 g/cm ³	อ้างอิง [8]
ความหนาเวป	2.4 mm	การวัดค่า
อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ	1.26	อ้างอิง [8]
Burn rate coefficient	22.867 mm/s/Mpa ^α	อ้างอิง [8]
Burn rate exponent	0.9145	อ้างอิง [8]
Form factor	1.4	อ้างอิง [8]



รูปที่ 4 ดินปืนแบบทรงกลม (Ball powder propellant)



รูปที่ 5 กระสุนปืนขนาด 5.56 × 45 มม. แบบต่าง ๆ [10]

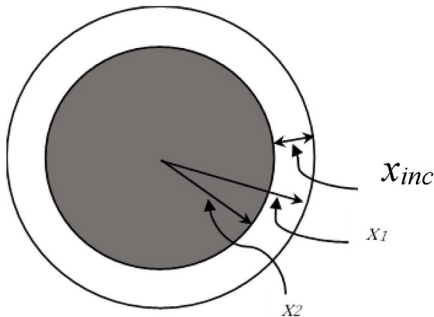
สมบูรณ์ ข้อสมมติฐานนี้สามารถใช้ได้ดี แม้ว่าดินปืนจริง อาจไม่ได้เป็นทรงกลมสมบูรณ์แบบตามรูปที่ 4 ขนาด ที่ใช้ในการคำนวณถือเป็นค่าเฉลี่ยของเม็ดดินปืนทั้งหมด ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินปืน แสดงไว้ตามตารางที่ 1

รูปแบบปืนเล็กยาว MZ-4P ใช้กระสุนแบบ 5.56 × 45 มม. แบบต่าง ๆ ตามที่แสดงดังรูปที่ 5 กระสุน ปืนในที่นี้ทำการคำนวณกระสุน Ball M193, Ball M855, Tracer M196 และ Tracer M856 แต่ละแบบใช้ปริมาณ ดินปืนแตกต่างกันไปโดยอ้างอิงปริมาณดินปืนจาก Army ammunition data sheet, TM 43-0001-27 [9]

คุณลักษณะของปืน MZ-4P แสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติปืน (Gun characteristic)

Parameters	Value	Reference
Chamber diameter	5.69 mm	อ้างอิง [11]
Chamber length	112 mm	อ้างอิง [11]
Projectile weight	54-63.7 gr	อ้างอิง [9]
Gun tube length 11.5"	292 mm	อ้างอิง [11]
Gun tube length 14.5"	368 mm	อ้างอิง [11]
Caliber per twist	32	อ้างอิง [11]
Radius of gyration	1.90 mm	อ้างอิง [4]

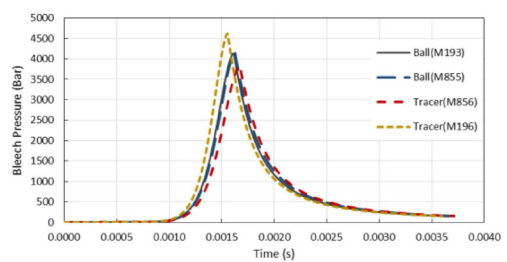


รูปที่ 6 การเผาไหม้ดินปืนแบบทรงกลม

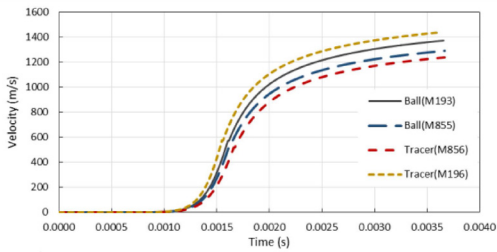
ในการวิจัยนี้เราพิจารณาให้ดินปืนเป็นแบบทรงกลม การคำนวณเริ่มด้วยการกำหนด ค่า x_{inc} ตามรูปที่ 6 ในที่นี้ให้ x_{inc} เท่ากับ 0.0024 mm จากขั้นที่ 1 ไปขั้นที่ 2 ดินปืนเผาไหม้ไปเป็นระยะทาง x_{inc} ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเท่ากับปริมาตรทรงกลมที่หายไปคูณด้วยจำนวนของเม็ดดิน ดังนั้น เราสามารถหาสมการสัดส่วนการเผาไหม้ $\phi(t)$ ได้ และหาสัดส่วนการเผาไหม้ f จากสมการที่ (10) ค่าตัวแปรต่าง ๆ จากตารางที่ 1 และ 2 สามารถคำนวณค่าความเร็วของกระสุนจากสมการที่ (8) และค่าต่าง ๆ ตามสมการ (7), (9) และ (11) ความดันรังเพลิงจาก สมการที่ (12) คำนวณเวลา t_2 จาก $t_2 = x_{inc}/r_b + t_1$ คำนวณซ้ำจนถึงขั้นสุดท้ายที่ $x = 0$ จากนั้นสมการเปลี่ยนไปเป็นสมการหลังการเผาไหม้ (13) ถึง (17) จะได้ผลลัพธ์ของการดำเนินงานเป็นกราฟความดันรังเพลิง ณ เวลาใด ๆ และความเร็วลูกกระสุน ณ เวลาใด ๆ

4. ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Result of Analysis)

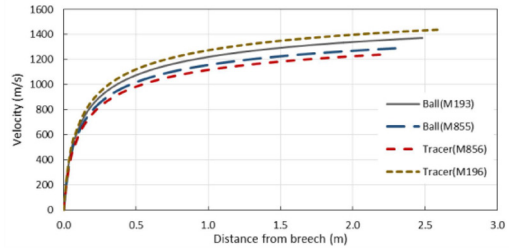
ผลการคำนวณความดันรังเพลิงตามเวลาที่ผ่านไปตั้งแต่เริ่มต้นการจุดชนวน ตามสมการที่ (12) และ (17) แสดงดังรูปที่ 7 ผลการคำนวณความเร็วกระสุนตามสมการที่ (8) และผลการประเมินความเร็วปากกระบอกปืน (Muzzle velocity) ของปืนขนาดลำกล้อง 11.5 นิ้ว และ 14.5 นิ้ว ความดันสูงสุด แสดงไว้ตามรูปที่ 8 - 9 และตารางที่ 3



รูปที่ 7 ผลการคำนวณความดันรังเพลิงตามเวลาของกระสุนแบบต่าง ๆ



รูปที่ 8 ผลการคำนวณความเร็วกระสุน
ตามเวลาของกระสุนแบบต่าง ๆ



รูปที่ 9 ผลการคำนวณความเร็วกระสุน
ตามระยะทางจากรังเพลิงของกระสุนแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณกระสุนแต่ละแบบ

Parameters	5.56x45 Cartridge			
	Ball (M193)	Ball (M855)	Tracer (M856)	Tracer (M196)
Projectile Weight, gr	56	62	63.7	54
Charge Weight, gr	26.5	26.1	24.7	28.5
Muz Velocity, 11.5" m/s(ft/s)	941(3,132)	890(2,963)	864(2,878)	983(3,274)
Muz Velocity, 14.5" m/s(ft/s)	1,001(3,334)	945(3,146)	915(3,048)	1,041(3,466)
Max Breech Pressure, Bar	4,128	4,158	3,833	4,615
Burn Time, sec	0.0016	0.0016	0.0017	0.0016
Ballistic Efficiency	0.243	0.245	0.250	0.240

5. บทวิเคราะห์ผลการคำนวณ

การวิเคราะห์ผลการคำนวณ ตามรูปที่ 7 - 9 การคำนวณค่าต่าง ๆ ให้ผลแตกต่างกันเล็กน้อย นั่นคือ การเปรียบเทียบผลระหว่างกระสุน M193 กับ M855 จะเห็นว่า ความเร็วกระสุนของ M193 เท่ากับ 941 m/s มากกว่า M855 เล็กน้อย ทั้งนี้ M193 ใช้ดินขับมากกว่า และน้ำหนักกระสุนต่ำกว่า M855 เช่นเดียวกันกับผล เปรียบเทียบระหว่างกระสุน Tracer M196 และ M856 ความเร็วต้นของกระสุน M196 เท่ากับ 983 m/s มากกว่า M856 ที่ 864 m/s ทั้งนี้ M196 ใช้ดินขับมากกว่า และกระสุนเบากว่า M856

ความดันรังเพลิงของกระสุน M193 และ M855 ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ M196 ความดันรังเพลิงสูงสุด 4,615 Bar มากกว่า M856 ทั้งนี้ กระสุน M196

ใช้ดินขับมากกว่า M856 อยู่ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 3 เปรียบเทียบความเร็วต้นของปืน ความยาวกระบอกปืน 11.5 นิ้ว และ 14.5 นิ้ว พบว่า ความยาวที่น้อยกว่าทำให้ปืนมีความเร็วต่ำกว่า ลักษณะ เช่นเดียวกันในกระสุนทุกแบบ โดยเฉลี่ยแล้ว ความเร็ว ต่ำกว่าประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 3 ค่าประสิทธิภาพเชิงซีปนวิถี กระสุนทั้งสี่ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน จะเห็นว่าถ้าค่า อัตราส่วน w/c มีค่ามาก ค่าประสิทธิภาพจะมากตามไปด้วย จากข้อมูลพบว่า ประสิทธิภาพสูงสุดคือ กระสุน M856 ค่า w/c เท่ากับ 2.58 ค่าประสิทธิภาพเชิง ซีปนวิถีเท่ากับ 0.250

6. บทสรุป

การคำนวณความดันรังเพลิงและความเร็วต้นของกระสุนอาศัยหลักการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง ความดันก๊าซขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ หลายประการ เช่น คุณสมบัติของดินปืน ปริมาณและขนาดของดินปืน รูปร่างดินปืน รวมถึงขนาดของลำกล้องปืนและกระสุน เป็นต้น ผลการคำนวณความเร็วต้นแสดงว่า ถ้าเราใช้ปริมาณดินปืนมากกว่าและกระสุนที่เบากว่า กระสุนจะมีความเร็วต้นมากกว่า สำหรับการเปรียบเทียบความยาวปืน ปืนที่มีลำกล้องสั้นจะมีความเร็วต้นต่ำกว่าปืนลำกล้องยาวอยู่เล็กน้อย ค่าประสิทธิภาพเชิงซีปนวิธีแปรผันตามค่าอัตราส่วนมวลกระสุนต่อมวลดินปืน ถ้าอัตราส่วนมวลกระสุนต่อมวลดินปืนมีค่ามาก ปืนก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การวิจัยนี้เป็นการคำนวณดินปืนแบบทรงกลม ไม่ได้ครอบคลุมถึงดินปืนรูปแบบอื่น ๆ แนวทางการวิจัยต่อไปอาจจะพิจารณาถึงดินปืนแบบอื่น ๆ เช่น ทรงกระบอก (Tubular) หรือแบบทรงกระบอกหลายรู (Multi perforated grain) เป็นต้น

ผลการคำนวณทำให้เราสามารถประเมินความเร็วต้นของกระสุนปืน ความดันรังเพลิง และประสิทธิภาพของปืนได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบหรือปรับปรุงประสิทธิภาพของปืนให้ดีขึ้นได้ตามจุดประสงค์และความต้องการของผู้ออกแบบ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน สำหรับการสนับสนุนงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Z. Xiao, S. Ying, W. He, and F. Xu, "Interior Ballistic Prediction of Gun Propellants Based on Experimental Pressure-Apparent Burning Rate Model in Closed Vessel," *Sci. Technol. Energ. Mater.*, vol. 76, no. 1, pp. 1 - 7, 2015.
- [2] M. S. Pir Tavana, S. A. Alavi, S. Rahmati, and H. Fazeli, "Interior Ballistics Simulation for 9 mm Gun for Bullet and Blank Shot Applying Spalart-Allmars Turbulence Model," *RJAV*, vol. 19, no. 2, pp. 75 - 85, 2022.
- [3] J. Corner, *Theory of the Interior Ballistics of Guns*. NY, USA: Wiley, 1950.
- [4] P. G. Baer and J. M. Frankle, "The Simulation of Interior Ballistics Performance of Guns by Digital Computer Program," Interior Ballistic Laboratory, Arberdeen Proving Ground, MD, USA, Rep. 1183, 1962.
- [5] *Engineering Design Handbook: Interior Ballistic of Guns*, US Army Materiel Command, Huntsville, AL, USA, 1965.
- [6] National Center for Forensic Science. "Smokeless Powders Database." NCFs.ucf.edu. https://ncfs.ucf.edu/powders/popups/help.php?help_id=16
- [7] *Engineering Design Handbook: Recoilless Rifle Weapon Systems*, US Army Materiel Command, Alexandria, VA, USA, 1976.
- [8] D. E. Carlucci and S. S. Jacobson, *Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018.
- [9] *Army Ammunition Data Sheets: Small Caliber Ammunition (FSC 1305)*, Dept. of the Army, Washington, D.C., USA, TM-43-001-27, 1996.
- [10] *Infantry Unit Weapons Manual*, Infantry Battalion Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok, Thailand. (in Thai)
- [11] EMTAN. "M2-4P 11.5": Caliber 5.56 MM NATO Automatic Rifle with PISTON Operation System." EMTAN. co.il. <https://emtan.co.il/products/MZ-4p-11-5/>